

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

\_\_\_\_\_  
Руководитель ОПОП ВО  
профессор Н.К. Кондрашева

\_\_\_\_\_  
Проректор по образовательной  
деятельности доцент  
Д.Г. Петраков

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **КИНЕТИКА ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	Бакалавриат
<b>Направление подготовки</b>	18.03.01 Химическая технология
<b>Направленность (профиль)</b>	Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов
<b>Квалификация выпускника:</b>	бакалавр
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Составитель:</b>	доцент С.Н.Салтыкова

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ» разработана:**

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», утвержденного приказом Минобрнауки России № 922 от 07 августа 2020 г.;

- на основании учебного плана бакалавриата по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» направленность (профиль) «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов».

Составитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент каф. ХТПЭ Салтыкова С.Н.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена** на заседании кафедры химических технологий и переработки энергоносителей от 15 февраля 2022г., протокол № 16.

Заведующий кафедрой ХТПЭ \_\_\_\_\_ Н.К. Кондрашева

**Рабочая программа согласована:**

Начальник управления учебно-методического обеспечения образовательного процесса \_\_\_\_\_ к.т.н. Иванова П.В.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ» является знакомство с основными диаграммами состояния различных систем и с методами расчета условий фазового равновесия в одно-и многокомпонентных системах, приобретение необходимых знаний в области теории и практического применения учения о гетерогенных равновесиях.

Задачами дисциплины являются:

- овладение методами проверки экспериментальных данных о гетерогенном равновесии;
- формирование навыков моделирования различных технологических процессов в гетерогенных системах;
- формирование навыков по изображению диаграмм состояния различных систем;
- формирование навыков в проведении физико-химических методах исследования и анализа различных систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ» относится к Блоку «Факультативные дисциплины» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «18.03.01 Химическая технология» и изучается в 4-ом семестре.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ» являются «Общая и неорганическая химия», «Введение в химическую технологию неорганических веществ», «Введение в информационные технологии».

Дисциплина «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Очистка и комплексная переработка отходящих газов», «Процессы и аппараты химической технологии», «Технология производства катализаторов», «Катализаторы в химической технологии».

Особенностью дисциплины является изучение основных моделей гетерогенных взаимодействий и использование полученных знаний в технологии неорганических веществ.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6	УК-6.1. <b>Знает:</b> основные приемы эффективного управления собственным временем; основные методики самоконтроля, саморазвития и самообразования на протяжении всей жизни
		УК-6.2. <b>Умеет:</b> эффективно планировать и контролировать собственное время; использовать методы саморегуляции, саморазвития и самообучения
		УК-6.3. <b>Владеет:</b> методами управления собственным временем; технологиями приобретения, использова-

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
		ния и обновления социо-культурных и профессиональных знаний, умений и навыков; методиками саморазвития и самообразования в течение всей жизни
Способен осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса	ПКС-1	ПКС-1.1. <b>Знает:</b> основные технологические процессы, виды применяемого оборудования и правила его эксплуатации
		ПКС-1.2. <b>Умеет:</b> осуществлять контроль выполнения требований технологического регламента
		ПКС-1.3. <b>Владеет:</b> навыками контроля работы технологического объекта по обеспечению требований технологического регламента

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		4
<b>Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
Проработка конспекта лекций	9	9
Подготовка к лабораторным занятиям	9	9
Написание отчетов по лабораторным занятиям	8	8
Подготовка к защите отчетов по лабораторным занятиям	4	4
Подготовка к зачету	6	6
<b>Промежуточная аттестация – зачет (З)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>		
	<b>ак. час.</b>	<b>72</b>
	<b>зач. ед.</b>	<b>2</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, лабораторные занятия и самостоятельная работа.

#### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента, в том числе курсовая работа (проект)
Раздел 1 «Общие сведения»	14	4	-	-	10
Раздел 2 «Физико-химические закономерности в химической технологии»	28	6	-	8	14
Раздел 3 «Гетерогенные процессы»	30	8	-	10	12
<b>Итого:</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>36</b>

#### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Общие сведения	Химико-технологический процесс и его содержание. Основные технологические понятия и определения. Материальный и энергетический балансы. Экономическая эффективность химического производства.	4
2	Физико-химические закономерности в химической технологии	Классификация химических реакций. Факторы, влияющие на состояние равновесия. Сдвиг равновесия под влиянием температуры. Сдвиг равновесия под влиянием давления. Сдвиг равновесия под влиянием концентрации реагирующих веществ. Кинетика химико-технологических процессов. Понятие о микро- и макрокинетике. Влияние различных факторов на скорость химических процессов, протекающих на микроуровне.	6
3	Гетерогенные процессы	Скорость гетерогенных процессов. Коэффициент скорости процесса. Поверхность контакта фаз. Движущая сила процесса. Моделирование процессов в системе газ-твердое и жидкость-твердое. Моделирование процессов в системе газ-жидкость и жидкость-жидкость. Общие закономерности каталитических процессов. Гетерогенный катализ. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций.	8
<b>Итого:</b>			<b>18</b>

#### 4.2.3. Практические занятия

Практические занятия не предусмотрены

#### 4.2.4. Лабораторные работы

№ п/п	Разделы	Тематика лабораторных занятий	Трудоёмкость в ак. часах
1	Раздел 2	Влияние температуры на равновесие процесса	4
2	Раздел 2	Влияние концентрации реагирующих веществ на равновесие процесса	4
3	Раздел 3	Определение скорости гетерогенных процессов	4
4	Раздел 3	Кинетика каталитических процессов	6
<b>Итого:</b>			<b>18</b>

#### 4.2.5. Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся. Цели лекционных занятий:

-дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

-стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Лабораторные работы.** Цели лабораторных занятий:

-углубить и закрепить знания, полученные на лекциях и в процессе самостоятельной работы обучающихся с учебной и научной литературой;

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

##### Раздел 1. Общие сведения

- 1.Принципиальная схема простейшего химико-технологического процесса.
- 2.Равновесная степень превращения.
- 3.Скорость химической реакции.
- 4.Материальный баланс.
- 5.Энергетический баланс.

##### Раздел 2. Физико-химические закономерности в химической технологии

- 1.Энергия Гиббса.
- 2.Сдвиг равновесия под влиянием температуры.
- 3.Сдвиг равновесия под влиянием давления.
- 4.Сдвиг равновесия под влиянием концентрации реагирующих веществ.

- 5.Схема химико-технологического процесса с выводом продукта реакции.
- 6.Циркуляционная схема химико-технологического процесса с выводом продукта реакции.
- 7.Изменение концентрации компонентов во времени.
- 8.Зависимость константы скорости реакции от температуры.
- 9.Влияние температуры на скорость реакции.

### **Раздел 3. Гетерогенные процессы**

- 1.Скорость гетерогенных процессов.
- 2.Коэффициент скорости процесса.
- 3.Поверхность контакта фаз.
- 4.Движущая сила процесса.
- 5.Схема взаимодействия газообразного реагента с твердым реагентом.
- 6.Элементарная стадия гетерогенного катализа.
- 7.Влияние внешней диффузии на скорость каталитического процесса.
- 8.Влияние внутренней диффузии на скорость каталитического процесса.
- 9.Моделирование процессов в системе газ-твердое.

## **6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (зачета)**

### **6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к зачету (по дисциплине):**

- 1.Производительность процесса.
- 2.Расходный коэффициент.
- 3.Интенсивность процесса.
- 4.Степень превращения.
- 5.Скорость и константа скорости химической реакции.
- 6.Материальный баланс процесса.
- 7.Энергетический баланс.
- 8.Капитальные затраты.
- 9.Энергия Гиббса.
- 10.Зависимость равновесной степени превращения от температуры.
- 11.Циркуляционная схема химико-технологического процесса с выводом продукта реакции.
- 12.Схема химико-технологического процесса с выводом продукта реакции.
- 13.Зависимость степени превращения от температуры.
- 14.Зависимость константы скорости реакции от температуры.
- 15.Изменение концентрации компонентов во времени.
- 16.Изменение движущей силы процесса во времени.
- 17.Квазигомогенная модель процесса.
- 18.Модель процесса с невзаимодействующим ядром.
- 19.Схема взаимодействия газообразного реагента с твердым реагентом.
- 20.Зависимость скорости реакции от давления.
- 21.Зависимость степени превращения от давления.
- 22.Зависимость скорости диффузии от температуры.
- 23.Зависимость общей скорости процесса от температуры.
- 24.Зависимость общей скорости процесса от потока.
- 25.Зависимость общей скорости процесса от радиуса частиц.
- 26.Зависимость общей скорости процесса от температуры и скорости потока.
- 27.Зависимость степени превращения от температуры для катализаторов различной активности.
- 28.Активность катализатора.
- 29.Температура зажигания.
- 30.Отравление катализатора.
- 31.Селективность процесса.
- 32.Элементарная стадия гетерогенного катализа.
- 33.Влияние внешней диффузии на скорость каталитического процесса.

34. Влияние внутренней диффузии на скорость каталитического процесса.  
 35. Методы определения порядка реакции.  
 36. Сложные реакции: обратимые, последовательные, параллельные и сопряженные.  
 37. Теория активных соударений, теория активированного комплекса.  
 38. Уравнение Аррениуса.  
 39. Закон Фика.  
 40. Принципы построения математических моделей гетерогенных взаимодействий.  
 41. Понятие стационарности и квазистационарности процесса.  
 42. Представление гетерогенного взаимодействия в виде сложной химической реакции.  
 43. Представление диффузии в виде обратимой химической реакции.

### 6.2.2. Примерные тестовые задания к зачету

#### Вариант №1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Константа скорости химической реакции не зависит от	1. концентрации 2. температуры 3. катализатора 4. растворителя
2.	Кинетическое уравнение необратимой реакции первого порядка имеет вид	1. $k_1 = -\frac{1}{t} \ln \frac{[A_0]}{[A]}$ 2. $k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{[A_0]}{[A]}$ 3. $k_1 = \frac{1}{t} \ln [A_0]$ 4. $k_1 = \frac{1}{t} \ln [A]$
3.	Скорость реакции $v_1 A_1 + v_2 A_2 = v_3 A_3 + v_4 A_4$ Второго порядка определяется уравнением	1. $v = k_{II} [A_3][A_1]$ 2. $v = k_{II} [A_2][A_1]$ 3. $v = \frac{1}{t} [A]$ 4. $v = \frac{d[A_1]}{dT} = k_{II} [A_1][A_2]$
4.	Как изменяется концентрация реагирующих веществ с течением времени, если реакция имеет нулевой порядок?	1. линейно увеличивается 2. линейно уменьшается 3. не изменяется со временем 4. экспоненциально уменьшается
5.	Зависимость константы скорости реакции от температуры выражается уравнением Аррениуса	1. $k = Z_0 \cdot e^{\frac{E_0}{RT}}$ 2. $k = e^{\frac{E_0}{RT}}$ 3. $\ln k = -\frac{E_a}{R}$ 4. $\ln K = \ln Z_0 + \frac{E_a}{R}$
6.	Разделение жидкостей путем перегонки наиболее эффективно	1. при высоком давлении 2. при высокой температуре кипения 3. при близких составах насыщенного



№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		пара и раствора 4.при низкой температуре кипения
7.	Идеальная растворимость твердых тел в жидкостях зависит от	1. $T_{пл}$ и $\Delta H_{пл}$ растворенного вещества 2. $T_{пл}$ растворителя 3. $\Delta H_{пл}$ растворителя 4. $T_{пл}$ и $\Delta H_{пл}$ растворителя и температуры растворения
8.	Число степеней свободы показывает:	1. число равновесных фаз 2. число независимых компонентов 3. число внешних параметров 4. число независимых переменных при равновесии фаз
9.	Твердая эвтектика представляет собой	1. гомогенную систему переменного состава 2. гомогенную систему постоянного состава 3. гетерогенную систему постоянного состава 4. гетерогенную систему переменного состава
10.	Максимальное число фаз в равновесной системе равно	1. в однокомпонентной – 2 2. в двухкомпонентной – 4 3. в трехкомпонентной – 6 4. в двухкомпонентной – 3
11.	В эвтектической точке бинарная система	1. бивариантна 2. инвариантна 3. моновариантна 4. тривариантна
12.	В перитектической точке двухкомпонентной системы число степеней свободы равно	1. 0 2. 3 3. 1 4. 2
13.	Неограниченные твердые растворы замещения образуются, если Компоненты имеют:	1. различные по величине радиусы (различие больше 15 %), но одинаковые структуры 2. благоприятный размерный фактор, но разные валентности и электроотрицательности 3. благоприятный размерный фактор и одинаковые структуры 4. благоприятный размерный фактор, одинаковые структуры, но сильно отличающиеся электроотрицательности
14.	Твердые растворы – это	1. гетерогенная система переменного состава 2. тонкодисперсная смесь обоих компонентов 3. однофазная система постоянного состава

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		4.гомогенная система переменного состава
15.	У чистого индивидуального вещества число тройных точек равно	1.1 2.3 3.2 4.зависит от свойств вещества
16.	Константа равновесия для реакций с идеальными газами зависит	1. только от температуры 2. только от давления 3. от температуры, природы реагирующих веществ, записи стехиометрического уравнения реакции 4. от температуры, общего давления и природы реагирующих веществ
17.	В какую сторону сместится равновесие реакции $A_{тв} + B_{тв} = C_{газ}$ (где А и В – фазы постоянного состава), если в систему ввести инертный газ При $P, T = const$ ?	1.вправо 2.влево 3.смещения не произойдет 4.смещение зависит от количества инертного газа
18.	Для реакции $2A + B = C + D$ с идеальными газами добавление инертного газа при постоянных $P$ и $T$ будет смещать равновесие	1.вправо 2.влево 3.смещения равновесия не произойдет 4.направление смещения зависит от количества инертного газа
19.	Направление реакции $A_{тв} \rightarrow B_{тв}$ при $P, T = const$ зависит	1.от соотношения парциальных давлений компонентов 2.от массы компонентов 3.от термодинамических свойств компонентов 4.только от температуры реакции
20.	Для реакций с идеальными газами типа $2A + 3B = 2D + C$	1.состав равновесной смеси не зависит от $P_{общ}$ 2. $K_p$ увеличивается с ростом $P_{общ}$ 3.выход продуктов увеличивается с ростом $P_{общ}$ 4.выход продуктов не зависит от $P_{общ}$

Вариант № 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Скоростью химической реакции будет являться:	1.изменение концентрации любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном давлении) 2.изменение концентрации любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном объеме) 3.изменение числа молей любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном давлении)

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		4. изменение числа молей любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном объеме)
2.	изменение концентрации любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном давлении); б) изменение концентрации любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном объеме); в) изменение числа молей любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном давлении); г) изменение числа молей любого из участников реакции в единицу времени (при постоянном объеме).	1. не изменяется 2. уменьшается 3. уменьшается, если реакция происходит с уменьшением числа молей газообразных участников 4. увеличивается при наличии (и уменьшается при отсутствии) в системе катализатора
3.	Какой знак имеет величина скорости реакции?	1. всегда положительна 2. положительна, если выражена через изменение концентрации продуктов реакции, и отрицательна, если выражена через изменение концентрации исходных веществ 3. зависит от механизма реакции (в случае обратимой реакции скорость положительна для прямой стадии и отрицательна для обратной) 4. все ответы неверны
4.	Порядком реакции является:	1. сумма стехиометрических коэффициентов при продуктах в уравнении реакции 2. сумма стехиометрических коэффициентов при исходных веществах в уравнении реакции 3. сумма стехиометрических коэффициентов при исходных веществах в уравнении элементарной реакции 4. сумма всех стехиометрических коэффициентов в уравнении элементарной реакции
5.	Порядок реакции совпадает с молекулярностью:	1. для газофазных реакций, происходящих при постоянном объеме 2. для газофазных реакций, происходящих при постоянном давлении 3. для реакций, протекающих в одну стадию 4. для реакций, протекающих в конденсированной фазе
6.	Могут ли порядок реакции и молекулярность быть дробными величинами?	1. нет 2. да 3. порядок – да, молекулярность – нет 4. молекулярность – да, порядок – нет
7.	Константа скорости химической реакции зависит от следующих	1. время, температура, концентрация участников реакции

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	факторов:	2. концентрация участников реакции, температура 3. время, механизм реакции, температура 4. механизм реакции, температура
8.	В соответствии с принципом лимитирующей стадии химической реакции:	1. скорость любой сложной химической реакции определяется скоростью самой медленной ее стадии 2. скорость любой сложной химической реакции определяется скоростью самой быстрой ее стадии 3. скоростью самой медленной стадии определяется скорость сложной химической реакции, если она состоит из ряда параллельных реакций 4. скоростью самой быстрой стадии определяется скорость сложной химической реакции, если она состоит из ряда параллельных реакций
9.	Если температура, константы скорости и начальные концентрации исходных веществ одинаковы, то реакция какого порядка завершится раньше?	1. нулевого 2. первого 3. второго 4. третьего
10.	Во сколько раз увеличится скорость прямой и обратной газофазной реакции $A \leftrightarrow 2B$ при увеличении давления в системе в 4 раза?	1. скорость и прямой, и обратной реакции увеличится в 4 раза 2. скорость прямой реакции увеличится в 4 раза, обратной – в 8 раз 3. скорость прямой реакции увеличится в 2 раза, обратной – в 8 раз 4. скорость прямой реакции увеличится в 4 раза, обратной – в 16 раз
11.	Как изменится скорость одностадийной газофазной реакции типа $2A + B \rightarrow C$ , протекающей при постоянных объеме и температуре, при увеличении давления в системе в 2 раза?	1. увеличится в 2 раза 2. увеличится в 4 раза 3. увеличится в 8 раз 4. уменьшится в 2 раза
12.	При увеличении начальной концентрации исходного вещества в два раза время полупревращения в реакции нулевого порядка:	1. увеличится в два раза 2. уменьшится в два раза 3. увеличится в четыре раза 4. не изменится
13.	При уменьшении начальной концентрации исходного вещества в два раза время полупревращения в реакции второго порядка:	1. увеличится в два раза 2. уменьшится в два раза 3. увеличится в четыре раза 4. не изменится
14.	Дифференциальный метод Вант – Гоффа позволяет определить:	1. порядок и молекулярность реакции 2. порядок и скорость реакции 3. порядок и энергию активации 4. порядок и константу скорости реакции
15.	При определении порядка химической ре-	1. нулевой

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	акции графическим методом получили линейную зависимость в координатах «С – t». Какой порядок имеет данная реакция?	2.первый 3.второй 4.третий
16.	Если необратимая реакция типа $A \rightarrow B$ протекает в реакторе идеального смешения, то при установившемся стационарном режиме с течением времени концентрация продукта реакции в объеме	1.не изменяется 2.линейно возрастает по длине реактора 3.экспоненциально возрастает по длине реактора 4. все ответы неверны
17.	Энергией активации химической реакции называется:	1.минимальное количество энергии, которым должен обладать 1 моль реагирующих веществ, для того, чтобы прошла данная реакция 2.минимальный избыток энергии по сравнению со средней энергией молекул, которым должен обладать 1 моль вещества для того, чтобы прошла данная реакция 3.минимальное количество энергии, которое выделится (или поглотится) при протекании данной реакции в расчете на 1 моль реагирующих веществ 4.минимальная разница между энергией продуктов реакции и исходных веществ, которую необходимо сообщить 1 молю реагирующих веществ, для того, чтобы прошла данная реакция
18.	Может ли энергия активации химической реакции принимать нулевое значение? Если «да», то для каких реакций?	1.нет, так как это избыточная энергия 2. да, если реакция протекает между молекулой и свободным радикалом 3.да, если реакция протекает с нулевым тепловым эффектом 4.да, если происходит реакция рекомбинации
19.	Какой должна быть энергия активации, чтобы скорость реакции возросла в три раза при увеличении температуры от 300 К до 310 К?	1.84,9 кДж·моль <sup>-1</sup> 2.849,0 кДж·моль <sup>-1</sup> 3.8,49 кДж·моль <sup>-1</sup> 4. все ответы неверны
20.	Во сколько раз возрастет скорость реакции при повышении температуры от 25 °С до 100 °С, если энергия активации реакции составляет 120 кДж·моль <sup>-1</sup> ? Рассчитайте температурный коэффициент реакции $\gamma$	1.в 12500 раз, $\gamma = 3,5$ 2.в 1250 раз, $\gamma = 2,6$ 3.в 1694 раза, $\gamma = 2,7$ 4.в 16960 раз, $\gamma = 3,7$

### Вариант №3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Какие величины, согласно теории активных столкновений, определяют предэкспоненту	1.общее число столкновений и энергия активации

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	понижающий множитель в уравнении Аррениуса?	2. частота столкновений и вероятностный фактор 3.больцмановский множитель и диаметр соударения 4.вероятностный фактор и доля активных молекул
2.	Основное уравнение теории активированного комплекса для расчета константы скорости справедливо:	1.только для мономолекулярных реакций 2.только для бимолекулярных реакций 3. для реакций любой молекулярности 4.для всех реакций, кроме тримолекулярных
3.	Для реакций какого типа значение энтропии активации не зависит от выбора стандартного состояния?	1.для мономолекулярных 2.для бимолекулярных 3.для тримолекулярных 4.для моно и бимолекулярных
4.	Если гетерогенная химическая реакция, происходящая в растворе, протекает в кинетической области, то перевести процесс в диффузионную область можно следующим способом:	1.повысить температуру 2.понижить температуру 3.при постоянной температуре увеличить интенсивность перемешивания 4.при постоянной температуре уменьшить интенсивность перемешивания
5.	Если гетерогенная реакция типа Агаз → Вгаз протекает на твердой поверхности по механизму Агаз → Аадсорб. → Вадсорб. → Вгаз, то:	1.скорость суммарного процесса всегда пропорциональна давлению вещества А 2. скорость суммарного процесса не зависит от давления вещества А, поскольку собственно реакция протекает в адсорбционном слое на поверхности 3. скорость суммарного процесса быстро уменьшается, поскольку, в соответствии с принципом Ле-Шателье, увеличение содержания вещества в газовой фазе сдвигает равновесие влево 4. при высоких давлениях вещества А скорость реакции постоянна и не зависит от давления вещества А
6.	Адсорбционным коэффициентом называется:	1.удельная скорость адсорбции вещества на твердой поверхности при данной температуре 2.величина, показывающая, во сколько раз изменяется скорость адсорбции вещества на твердой поверхности при изменении температуры на 10 градусов 3.отношение константы скорости адсорбции вещества на твердой поверхности к константе скорости десорбции 4. величина, численно равная энергии связи адсорбированной молекулы с твердой поверхностью
7.	Увеличение скорости обратимой химиче-	1.в результате увеличения константы скорости

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	ской реакции в присутствии катализатора происходит:	<p>прямой реакции и уменьшения константы скорости обратной реакции</p> <p>2.в результате смещения положения равновесия в сторону образования продуктов реакции</p> <p>3.в результате уменьшения энергии активации реакции при сохранении механизма процесса</p> <p>4.в результате уменьшения энергии активации реакции с изменением механизма процесса</p>
8.	В каком случае можно считать, что каталитическая реакция $A_{газ} + B_{газ} \rightarrow P_{газ}$ на поверхности катализатора происходит как реакция на равнодоступной поверхности?	<p>1.при малых давлениях газообразных участников реакции</p> <p>2.при высоких температурах</p> <p>3.при высокой скорости химической реакции на поверхности катализатора</p> <p>4.при малой скорости химической реакции на поверхности катализатора</p>
9.	В каком случае скорость гетерогенной каталитической реакции типа $A_{газ} \rightarrow P_{газ}$ , лимитирующей стадией которой является адсорбция исходного вещества на поверхность катализатора, описывается уравнением первого порядка?	<p>1.при слабой адсорбции вещества А</p> <p>2.при сильной адсорбции вещества А</p> <p>3.при слабой адсорбции вещества Р</p> <p>4.при сильной адсорбции вещества Р</p>
10.	Скорость гетерогенной каталитической реакции будет наибольшей, если реакция протекает:	<p>1.во внешнедиффузионной области</p> <p>2.во внутридиффузионной области</p> <p>3.в кинетической области</p> <p>4.в смешанной</p>
11.	Какие контакты с внешней средой может иметь изолированная термодинамическая система?	<p>1.любые контакты невозможны</p> <p>2.только механические контакты</p> <p>3.только диффузионные контакты</p> <p>4.только термические контакты</p>
12.	Какие контакты с внешней средой может иметь закрытая система?	<p>1.только диффузионные контакты</p> <p>2.термические и механические контакты</p> <p>3.любые контакты невозможны</p> <p>4.диффузионные и термические контакты</p>
13.	Открытые термодинамические системы могут обмениваться с внешней средой	<p>1.только веществом</p> <p>2.только теплотой</p> <p>3.только энергией</p> <p>4.энергией и веществом</p>
14.	Какие из перечисленных величин являются интенсивными термодинамическими переменными?	<p>1 температура, химическое количество вещества, плотность, удельный объем</p> <p>2.энергия, давление, плотность, концентрация</p> <p>3.плотность, концентрация, удельный объем, температура</p>

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		4.энтропия, давление, плотность, энергия
15.	Какие из перечисленных величин являются внутренними параметрами системы?	1.температура, магнитная индукция, энтропия, намагниченность 2.давление, поляризованность, теплоемкость при постоянном объеме, температура 3. давление, объем, внутренняя энергия, энтальпия 4. химические количества веществ, давление, температура, энтропия
16.	Какие термодинамические параметры относятся к обобщенным силам?	1.давление, химический потенциал, температура 2.количество вещества, поверхностное натяжение, электрический потенциал 3.плотность, объем, давление, химический потенциал 4.масса, давление, объем, поверхностное натяжение
17.	Какие перечисленные величины обладают свойствами функции состояния?	1.энергия Гиббса, теплота, теплоемкость, давление 2.температура, энтропия, теплоемкость при постоянном давлении 3.внутренняя энергия, работа, объем, химический потенциал 4.энтропия, теплота, внутренняя энергия, температура
18.	Какое состояние термодинамической системы называется равновесным?	1.состояние изолированной системы 2.состояние закрытой системы при постоянном давлении 3.состояние открытой системы при постоянном объеме 4. состояние, в которое переходит система при постоянных внешних условиях, характеризующееся неизменностью во времени термодинамических параметров и отсутствием в системе потоков вещества и теплоты
19.	Выберите правильное определение стационарного состояния системы.	1.это равновесное состояние изолированной системы 2.это состояние, при котором термодинамические переменные постоянны во времени, но в системе имеются потоки 3.равновесное состояние закрытой системы 4.равновесное состояние открытой системы
20.	Какой процесс называют адиабатическим?	1. процесс, при котором система не получает теплоты извне и не отдает ее 2.любой равновесный процесс 3.процесс, при котором система имеет теп-



№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		ловой контакт с окружающей средой 4. процесс, при котором система не имеет тепловой контакт с окружающей средой

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (зачета)

Оценка	Описание
<b>Зачтено</b>	Посещение более 50 % лекционных и лабораторных занятий; студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение семестра выполнил творческую работу.
<b>Не зачтено</b>	Посещение менее 50 % лекционных и лабораторных занятий; студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

#### *Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:*

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Не зачтено
50-65	Зачтено
66-85	Зачтено
86-100	Зачтено

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

1. Евстифеев Е.Н. Процессы на поверхности раздела фаз [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Евстифеев Е.Н., Кужаров А.А., Кужаров А.С.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018.— 287 с. <http://www.bibliocomplector.ru/book/?id=71581>

2. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Г.Е. Заиков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013.— 80 с. <http://www.bibliocomplector.ru/book/?id=62017>

3. Кузнецова И.М. Разработка технологии гетерогенной реакции в системе газ-жидкость [Электронный ресурс]: Учебное пособие к лабораторному практикуму по общей химической технологии/ Кузнецова И.М., Чиркунов Э.В., Харлампида Х.Э.— Электрон. текстовые данные.— Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011.— 49 с. <http://www.bibliocomplector.ru/book/?id=63979>

#### 7.1.2. Дополнительная литература

1. Фролов В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» [Электронный ресурс]/ Фролов В.Ф.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: ХИМИЗДАТ, 2017.— 608 с. Режим доступа: <http://www.bibliocomplector.ru/book/?id=67349>

2. Морачевский, А.Г. Термодинамика жидких металлов и сплавов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Г. Морачевский, Е.Г. Фирсова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 240 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94210>.

3. Морачевский, А.Г. Физическая химия. Гетерогенные системы [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Морачевский, Е.Г. Фирсова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 192 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/60048>.

4. Макарова Л.Л. Химическая кинетика и катализ: учебно-методическое пособие / Л.Л. Макарова // Удмуртский государственный университет. – Ижевск. – 2019. – 144 с. Режим доступа: [http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/17457/488%D0%BB%D0%B1\\_1000932708\\_04.09.2018.pdf?sequence=1](http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/17457/488%D0%BB%D0%B1_1000932708_04.09.2018.pdf?sequence=1)

### **7.1.3. Учебно-методическое обеспечение**

1. Салтыкова С.Н. Кинетика гетерогенных процессов: методические указания к самостоятельной работе / С.Н. Салтыкова// Санкт-Петербургский горный университет. – СПб. – 2018. – 13 с. Режим доступа: [http://ior.spmi.ru/system/files/srs/srs\\_1544293234.pdf](http://ior.spmi.ru/system/files/srs/srs_1544293234.pdf)

## **7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Европейская цифровая библиотека European: <http://www.europeana.eu/portal/>;
2. Мировая цифровая библиотека: <http://www.wdl.org/ru/>;
3. Свободная энциклопедия «Википедия»: <http://ru.wikipedia.org/>;
4. Словари и энциклопедии на «Академике»: <http://dic.academic.ru/>;
5. Электронная библиотека учебников: <http://student.net/>;
6. Электронная библиотека IQlib: <http://www.iqlib.ru/>;
7. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://www.rsl.ru/>.
8. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

#### **Аудитории для проведения лекционных занятий.**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

#### **Аудитории для проведения лабораторных занятий.**

Оснащенность: стол- 8 шт., стул-16 шт., доска белая маркерная Magnetoplan С 2000x1000 мм. Лаборатории оснащены химическим оборудованием, реактивами и лабораторными установками, необходимыми для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Кинетика гетерогенных процессов в технологии неорганических веществ».

### **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional:ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники» ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования» ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования" Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» , Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции» , Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 , Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012 , Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012

Kaspersky antivirus 6.0.4.142

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional ГК №797-09/09 от 14.09.09 «На поставку компьютерного оборудования». Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 .

Microsoft Office 2007 Standard Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 .

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010 . CorelDRAW Graphics Suite X5 Договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения» Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1 Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMATH Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО)

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., балон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стул – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech

– 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

**8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»).

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007).

3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011).